

рования режимными параметрами работы кавитационного диспергатора конус обтекания 2 выполнен с возможностью осевого перемещения в диффузоре ниппеля 1, путем перемещения штока 3. При этом размер суперкаверны будет зависеть от скорости набегающего потока и, как следствие, от радиального зазора между конусом обтекания и диффузором ниппеля 1.

### Вывод

Регулирование интенсивности кавитационного диспергирования осуществляется путем изменения коэффициента запыления потока  $k_3$ . Оптимальный диапазон изменения коэффициента запыления потока находится в пределах  $k_3=0,7-0,9$ , т.к. в данном диапазоне интенсивность изменения скорости обтекания имеет максимальное значение, что позволит регулировать интенсивность кавитационного воздействия в широких пределах.

УДК 621.673.001

## ТЕХНОЛОГІЯ РЕМОНТУ ТРУБОПРОВІДІВ БАНДАЖАМИ З ПОЛІМЕРНО-КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ

А.М.Найда

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422)42166,  
e-mail: andr@kl.if.ua

*Предложена эффективная технология ремонта трубопроводов бандажками из полимерно-композитных материалов, которая проводится без остановки работы трубопровода. По данной технологии используются полимерно-композитные бандажки на основе отечественных материалов, которые предназначены для проведения ремонтных работ на нефтегазопроводах, имеющих локальные дефекты тела трубы (коррозии, механические повреждения, внутритрубное расслоение) и сварных швов.*

Запропонована технологія ремонту трубопроводу з використанням бандажів з полімерно-композитних матеріалів призначена для підвищення довговічності, відновлення працездатності, ізоляції трубопроводів з корозійними і механічними пошкодженнями, дефектами зварних швів без зупинки експлуатації трубопроводу за зниження робочого тиску до  $(0,3-0,4)P_{роб}$  (регламентується нормативно-технічними вимогами для забезпечення безпечного проведення ремонту, а також включення в роботу конструкції [1-4]).

Дана технологія поширюється на ремонт полімерно-композитними матеріалами дефектних сталевих труб нафтогазпромислових трубопроводів діаметром до 300 мм з робочим тиском до 6,27 МПа, тобто це можуть бути високонапірні, середньонапірні, низьконапірні, безнапірні трубопроводи (викидні лінії, що

### Литература

- 1 Федоткин И.М. Интенсификация технологических процессов. – К.: Вища шк., 1999. – 200 с.
- 2 Федоткин И.М., Гулый И.С. Кавитационные энергетические аппараты и установки. – К.: Арктур-А, 1998. – 136 с.
- 3 Пат. 68524 А Україна, МКИ 7 Е 21 В 21/06. Пристрій для приготування бурових розчинів / Давиденко О.М., Камишацький О.Ф. Опубл. 16.08.2004; Бюл. № 8. – 3 с.

*There is a suggestion of an efficient technology of repairing of pipelines by bandages made of polymeric-composite material, which is executed without stop of working of the pipeline. In the given technology, polymeric-composite bandages are used on the base of domestic materials, which are intended for making of the repair work on oil and gas pipelines, which have local defects of the body of the pipe (the corrosions, mechanical damages, inside pipe body stratification) and welded seams.*

транспортують продукцію свердловини від її гирла до групової замірної установки; нафтогазозбірні колектори, розташовані від АГЗУ до ДНС; нафтозбірні колектори, розташовані від ДНС до центрального пункту збору (ЦПЗ); газозбірні колектори, що транспортують газ від пункту сепарації до компресорної станції, розташованої поряд з ЦПЗ).

До зв'язуючого компаунда в полімерно-композитному бандажі відноситься епоксидний зв'язувач ЕДТ-10 ОСТ 92-0957, в який можна додавати прискорювач полімеризації 2,4,6-три (діметиламіно) (метил) фенол УПО 60612 згідно ТУ 6-00209817.035, каталізатор диметиланілін технічний згідно ГОСТ 2168-78.

Матеріал бандажки – конструкційна склотканина структури 10 на замаслювачі №80 Т-10-80 згідно з ГОСТ 19170-73.

Таблиця 1 – Властивості конструкції полімерно-композитного бандажу на основі наповнювача –склотканини Т-10-80, зв'язувача ЕДТ-10, адгезія до металу на основі клею К-153

№ з/п	Параметри	Одиниці вимірювання	Значення параметрів
1	Густина бандажу	кг/м <sup>3</sup>	1900
2	Границя міцності на розтяг	МПа	100
3	Границя міцності на стиск	МПа	240
4	Модуль пружності	МПа	46400
5	Питомий об'ємний електричний опір	Ом·м	1,3·10 <sup>13</sup>
6	Ударна в'язкість	кДж/м <sup>2</sup>	874
7	Водовбирання	%	0,04
8	Твердість за Брінелем	Н <sub>Б</sub> , МПа	487
9	Час затвердіння	год	24
10	Коефіцієнт лінійного розширення	1/К	4,1·10 <sup>-6</sup> –8,1·10 <sup>-6</sup>
11	Коефіцієнт Пуассона		0,24
12	Перехідний електричний опір	Ом·м <sup>2</sup>	10 <sup>8</sup>
13	Міцність адгезії склопластикового бандажу до матеріалу труби зі сталі: а) за руйнуючим напруженням при рівномірному відриві за 20°C б) за руйнуючим напруженням при зсуві, за 20°C	МПа МПа	10–10,9 10,5–12,8
14	Температура адгезії	°C	18-20
15	Робоча температура експлуатації з'єднання на основі клею К-153	°C	-40 ÷ +40
16	Електрична міцність адгезійного з'єднання	кВ/мм	24,9
17	Термін служби адгезійного з'єднання	років	25
18	Суцільність бандажу	кВ/мм	не менше 5,0
19	Товщина бандажу	м	0,01
20	Термін служби бандажу	років	25
21	Міцність під час удару	Дж	не менше 10

Таблиця 2 – Основні фізико-механічні параметри, які повинні забезпечити бандажі на основі різних полімерно-композитних матеріалів

№ з/п	Параметри	Одиниці вимірювання	Значення параметрів
1	Питомий об'ємний електричний опір	Ом·м	не менше 10 <sup>6</sup>
2	Перехідний електричний опір	Ом·м <sup>2</sup>	не менше 10 <sup>8</sup>
3	Міцність адгезії склопластикового бандажу до матеріалу труби зі сталі: а) за руйнуючим напруженням у випадку рівномірного відриву за T = 20°C б) за руйнуючим напруженням у випадку зсуву, при T = 20° C	МПа МПа	не менше 10 не менше 10
4	Робоча температура експлуатації	°C	-15 ÷ +40
5	Термін служби клейового з'єднання	років	25
6	Суцільність бандажу	кВ/мм	не менше 5,0
7	Термін служби бандажу	років	25
8	Міцність під час удару	Дж	не менше 10

Полімерно-композитний бандаж на основі вказаних вище матеріалів повинен забезпечувати фізико-хімічні характеристики, наведені в таблиці 1.

У таблиці 1 наведено дані полімерно-композитного бандажу на основі ЕДТ-10, Т-10-80, К-153. Звичайно, можна використовувати й ін-

ші полімерно-композитні матеріали, які забезпечать виконання основних фізико-механічних параметрів. Показники цих параметрів наведено в таблиці 2.

Ширина бандажної композиційної стрічки складає 80 мм.

Ремонт труб із використанням полімерно-композитних матеріалів проводиться для таких типів дефектів:

- задири, подряпини, сколи;
- корозійні виразки (локальні, групові, розподілені за довжиною)
- вм'ятини глибиною до 5% діаметра труби;
- корозійні дефекти на зварних стиках (непровари).

Не підлягають ремонту бандажем з полімерно-композитних матеріалів такі дефекти:

- тріщини;
- наскрізні дефекти;
- гофри;
- вм'ятини разом з додатковим концентратом.

Перед проведенням ремонту обов'язково проводиться обстеження локальної зони дефекту за допомогою неруйнівних методів контролю для виявлення дефектів.

До початку виконання ремонтних робіт з використанням полімерно-композиційних бандажів виконують такі операції:

- перевірка відповідності тиску в трубопроводі безпечному рівню;
- розкриття трубопроводу;
- зняття ізоляційного покриття;
- візуальний огляд дефектної зони з попереднім вимірюванням товщини її стінки і глибини найбільших каверн;

– піскоструминне очищення поверхні труби на дефектній ділянці з використанням портативних установок Сопло-160, Стик-325 і т.п. Допускається механічне зачищення дефектної ділянки металевою щіткою з допомогою шліфмашинки або вручну з якістю поверхні не нижче 3-го ступеня за ВСН 008-88, ГОСТ 9402-80.

Необхідна кількість шарів композицій (товщина бандажу) залежить від діаметра, товщини стінки, механічних властивостей труби, міцнісних характеристик полімерно-композиційних матеріалів і визначається за розробленою методикою.

Роботи з ремонту трубопроводів з дефектами полімерно-композитними бандажими виконуються в такій технологічній послідовності.

1) Розмічання ділянки труби, що підлягає ремонту. Межі встановлення бандажу повинні бути розмічені маркером або крейдою по периметру труби. Розмічання виконується намоткою одного-двох витків шаблона. Ширина шаблона повинна бути рівною ширині композиційної стрічки бандажу.

2) Обезжирювання зони ремонту. Поверхня в місцях нанесення зв'язуючого компаунда на трубі повинна бути протерта і обезжирена тканиною, просоченою ацетоном або уайт-спіритом. Використання бензину для обезжирювання поверхні труби не допускається.

3) Просушування ремонтної поверхні безвогневим методом (за необхідності). За наявності вологи (конденсату) поверхня труби перед нанесенням полімерно-композитних матеріалів і встановленням бандажу повинна бути просушена. Температура просушування – 40...60°C. За температури повітря нижче +5°C

просушування поверхні труби в місці ремонту обов'язкове.

4) Підготовка матеріалу бандажу. Контроль вихідного матеріалу бандажу включає його випробовування на відповідність технічним вимогам механічних характеристик, розмірів, густини стрічки. Якщо матеріал замаслений, то він буде зменшувати міцність зв'язку між бандажем і трубою. В такому разі виконують операцію розшліхтування-видалення замаслювача з поверхні бандажу перед просочуванням його зв'язуючим. Для цього матеріал пропускають через бензин, водний розчин олеїнової кислоти (2%) і триетаноламіна (1%) або інші розчинники. Видалити замаслювач можливо шляхом нагрівання матеріалу бандажу до температури 200-450°C. Хороший ефект дає відмивання у воді з використанням ультразвуку. Цей метод відрізняється універсальністю і може бути використаний до будь-якої марки промаслювача. Для прискорення розшліхтування іноді описані методи комбінують.

Після розшліхтування матеріал може адсорбувати вологу, що погіршує адгезію до труби і знижує експлуатаційні характеристики бандажу загалом. Аппретування-нанесення на поверхню гідрофобних (водовідштовхуючих) покриттів, які збільшують міцність зв'язку бандажу з трубою і зменшують водовбирання бандажу. Як апрети можна використовувати аміносилики, емульсію етигдіросилоксанової рідини та інші. Закріплюють апрети нагріванням матеріалу бандажу до 80-150°C протягом 20-60 хв.

5) Приготування зв'язуючого. Перед використанням компоненти зв'язуючого повинні пройти контроль, під час якого слід перевірити термін їх придатності. Для того, щоб зв'язуючий мав необхідну технологічну в'язкість до нього вводять розчинник або розріджувач. Розчинник (летючі речовини) розчиняють смолу та інші компоненти зв'язуючого. Як розчинник використовують ацетон, бензол, толуол, діхлоретан, чотирихлористий вуглець, метиловий спирт тощо. Оскільки розчинники є летючими речовинами, то їх переважно використовують для "сухого формування". Якщо ж намотування виконується шляхом "мокрого формування", то в зв'язуючий слід додавати розріджувачі, які є нелетючими речовинами, що сприяють отриманню потрібної технологічної в'язкості і залишаються в зв'язуючому після затвердіння. Розріджувачі одночасно виконують роль пластифікатора. Як розріджувач високов'язких епоксидних смол використовують низьков'язкі епоксидні смоли (ДЕГ, ТЕГ та ін.)

Важливою технологічною характеристикою зв'язуючого є його життєздатність – властивість зберігати певний час (від декількох хвилин до декількох діб) технологічну в'язкість у заданих межах. Протягом цього часу із зв'язуючого випаровуються розчинники, що збільшує в'язкість компаунда (суміші всіх компонентів, що входять до складу зв'язуючого), погіршує його просочувальні характеристики і, як наслідок, змінює співвідношення матриці і наповнювача в кінцевому продукті. Якщо розчинни-

ки випаровуються повільно, то компаунд володіє високою життєздатністю, проте істотно збільшується час сушіння. Може навіть трапитися так, що час повного видалення розчинника перевищить час тужавіння зв'язуючого. В цьому випадку в затужавішому полімері виявляться безліч пор і газових пухирців. Використання сильнолетючих розчинників різко зменшує життєздатність зв'язуючого, що також небажано. Тому найчастіше всього використовують середньолетючі розчинники. Для епоксидних смол, наприклад, рекомендується толуол або його розчин в етиловому спирті. В стані поставання зв'язувач може бути дуже в'язким, іноді - твердим. Під час транспортування і зберігання до нього іноді потрапляє волога. Тому перед використанням смоли розігрівають у спеціальних металевих ємностях до температури 100-140 °С і після видалення води розводять розчинниками або розбавлювачами.

6) Просочування. Це – операція суміщення наповнювача (матеріалу бандаж) зі зв'язуючим шляхом нанесення компаунда на поверхню матеріалу бандаж. Намотування бандаж здійснюють двома способами – "мокрим" і "сухим". Під час мокрого способу бандаж просочується рідким зв'язуючим безпосередньо перед намотуванням, тобто просочування технологічно суміщене з формуванням бандаж. Під час „сухого способу” просочування виділене в самостійну операцію, внаслідок якої з матеріалу бандаж і зв'язуючого отримують "препреги". "Препреги" – це тканина, стрічка, яка після просочування підсушена і частково затужавіла. Просочування і підсушування виконують на спеціалізованих дільницях. Зв'язуючі з розчинниками володіють низькою технологічною в'язкістю, а це дає змогу добитись високої в'язкості і рівномірності просочування. В частково затужавілому стані „препреги” можуть перебувати від декількох днів до декількох місяців залежно від температури навколишнього середовища. „Сухе” намотування – більш прогресивний спосіб, аніж „мокре”. Недоліки „мокрого” намотування:

- вибір зв'язувачів для „мокрого” намотування обмежений тими смолами, які можна використовувати в рідкому вигляді, наприклад, епоксидними або поліефірними;

- для того щоб відрегулювати в'язкість в потрібних межах, розчинники використовувати не рекомендується, оскільки летючі речовини, що видаляються під час тужавіння намотаного бандаж, призводять до утворення пор та пухирів, погіршують монолітність і міцність;

- використання рідких зв'язуючих погіршує санітарні умови на робочому місці, забруднює його;

- продуктивність „мокрого” намотування обмежена швидкістю просочування матеріалу бандаж зв'язуючим. Якщо матеріал протягувати занадто швидко, то він не покривається достатнім шаром смоли;

- використання підігріву для зменшення технологічної в'язкості смоли зменшує життєздатність зв'язуючого, прискорює процес полі-

меризації і погіршує просочувальні властивості смоли.

Всі перелічені недоліки відсутні у випадку проведення „сухого” намотування. Її вирізняє висока продуктивність, оскільки швидкість намотування не лімітується і повністю залежить від можливостей намоточного обладнання. „Сухе” намотування дає змогу використовувати широкую номенклатуру смол, забезпечувати рівномірне розподілення зв'язуючого по всьому об'ємі виробу. Для проведення такого намотування достатньо забезпечити якісне з'єднання шарів зв'язуючого між собою (аутогезію) і матеріалу бандаж з тілом труби (адгезію). Це здійснюється шляхом вибору зусилля натягу "препрегів" у процесі намотування, а також тиску і температури у процесі затвердіння. До переліку основних недоліків „сухого” намотування відносяться її підвищення (в 2-3 рази) вартість порівняно з „мокрим” намотуванням.

#### 7) Формування :

- знежирення поверхні труби по всьому периметру в місцях намотування бандаж;

- фіксація початку стрічки бандаж на трубі;

- натягування стрічки бандаж на трубі;

- намотка бандажу на ділянку труби, що ремонтується, з нанесенням зв'язуючого поміж витками;

- фіксація кінця стрічки бандаж;

- заповнення проміжків між витками, оброблення торців бандаж зв'язуючим.

Під час ремонту труб з дефектами потрапляння вологи, масел і забруднень на ремонтвану ділянку труби, зв'язуючий компаунд і зміцнюючий бандаж не допускається. Перед намотуванням початок стрічки бандаж фіксується за допомогою попередньо нанесеного на ділянку труби клею К-153 ОСТ 92-0949 або наклеюється за допомогою двосторонньої самоклеючої стрічки до поверхні труби. Закріплення початку стрічки бандаж повинно не допускати її прокручування навколо труби, що ремонтується.

Намотування стрічки на трубу повинно здійснюватись з натягом до видалення проміжків. Перекоси стрічок під час намотування не допускаються. Шари стрічки, що виступають, після намотування слід вирівняти по торцях бандаж.

Для забезпечення щільного прилягання бандаж до ремонтваної труби проводиться додаткове натягування стрічки, що виконується вручну за допомогою спеціального пристрою, який закріплюється на самій композиційній стрічці. В процесі натягування витки стрічки зміцнюючого бандаж повинні прокручуватись одне відносно одного. Якщо не вдасться забезпечити натяг стрічки (передчасне затвердіння клеючого матеріалу, відсутність надійного закріплення початку стрічки на поверхню труби), то слід зняти композиційний бандаж, розрізавши його навіпіл по ширині за допомогою шліфмашинки, і встановити новий бандаж. В процесі розрізування композиційного бандаж дотикання абразивним диском до поверхні труби не допускається.

Після натягування стрічки видимі локальні проміжки між бандажем і поверхнею труби, а також між шарами стрічки повинні заповнюватися зв'язуючим компаундом. Торці встановленого композиційного бандажу повинні бути оброблені зв'язуючим компаундом, який формується під кутом 30-45° з обох боків бандажу.

Після натягування стрічка бандажу закріплюється за допомогою двох натяжних пасів, які розміщуються по краях бандажу на відстані 20...30 мм від торців, або липких стрічок (скотч) шириною 20-40 мм. Натяжний пристрій після натягування стрічки знімається. Кінцева ділянка останнього витка бандажу додатково прикріплюється до попереднього витка за допомогою липкої стрічки.

Запропонована технологія ремонту трубопроводів із використанням полімерно-композитних бандажів дасть змогу проводити ремонт трубопроводу без зупинки його роботи із використанням бандажів з вітчизняних матеріалів.

#### Література

1 ГОСТ 12.3.016-87. ССБТ. Работы антикоррозионные. Техника безопасности.

2 ВСН 008-88. Строительство промышленных и магистральных трубопроводов. Противокоррозионная и тепловая изоляция.

3 ВСН 009-88. Строительство промышленных и магистральных трубопроводов. ЭХЗ.

4 СП 34-116-97. Инструкция по проектированию, строительству и реконструкции промышленных нефтегазопроводов.

### III Міжнародна науково-технічна конференція

# СВІЛОТЕХНІКА Й ЕЛЕКТРО- ТЕХНІКА: ІСТОРІЯ, ПРОБЛЕМИ Й ПЕРСПЕКТИВИ

*м. Тернопіль  
(20–22 травня 2008 р.)*

#### Оргкомітет конференції

*Тернопільський державний технічний  
університет імені Івана Пулюя,  
кафедра світлотехніки  
46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56*

*kaf\_em@tu.edu.te.ua  
тел. (0352) 236464, 435114  
факс: (0352) 254983*

**Андрійчук В.А.**

#### Тематика конференції:

- Історичні аспекти світлотехніки і електротехніки
- Комп'ютерні методи у світлотехніці й електротехніці
- Енергозберігаючі технології
- Фізичні аспекти генерування світла та високоефективні джерела випромінювання
- Вторинні перетворювачі і нормалізація параметрів електроенергії
- Інформаційно-керуючі і силові пристрої та системи
- Опромінювальні установки в промисловості, сільському господарстві, медицині
- Системи зовнішнього і внутрішнього освітлення
- Світлові та електричні вимірювання
- Екологічні проблеми сучасної світлотехніки і електротехніки